

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭59—185311

⑪ Int. Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和59年(1984)10月20日

G 02 F 1/03

7448—2H

G 02 B 5/174

8106—2H

発明の数 1

審査請求 有

(全 6 頁)

⑭ 光制御型光スイッチ

⑯ 発明者 足立秀明

門真市大字門真1006番地松下電  
器産業株式会社内

⑰ 特 願 昭58—59949

⑱ 出 願 昭58(1983)4月7日

⑲ 発明者 和佐清孝

門真市大字門真1006番地松下電  
器産業株式会社内

⑳ 発明者 川口隆夫

門真市大字門真1006番地松下電  
器産業株式会社内

㉑ 出 願 人 工業技術院長

## 明 細 書

## 1、発明の名称

光制御型光スイッチ

## 2、特許請求の範囲

- (1) サファイヤ(α-アルミナ)基板と上記サファイヤ基板上に設けられたPLZT系薄膜からなる少なくとも2本の互いに交差する光導波路と、上記交差路上に設けられた一定間隔の電極空隙と、上記電極空隙が上記導波路の鋭角なる交差角の2等分線上に位置するように上記光導波路の交差路上に配置された制御電極と、上記光導波路と制御電極との間に設けた上記PLZT系薄膜より小さい屈折率を有するパフ層とを備え、上記光導波路を、上記PLZT系薄膜表面に帯型の上記PLZT系薄膜よりなる凸部を形成して構成し、上記サファイヤ基板上に起電力膜を設け、電気的にこの光起電力膜と制御電極とを電気的に結合させたことを特徴とする光制御型光スイッチ。

- (2) PLZT系薄膜において、PbとTiのモル

比率Pb/Tiが、

$$0.65 \leq \text{Pb}/\text{Ti} \leq 0.90$$

の範囲にあることを特徴とする特許請求の範囲  
第1項記載の光制御型光スイッチ。

## 3、発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は光制御型光スイッチに関する。特に本発明は薄膜光導波路用の全反射型の光制御型光スイッチの構成とその構成材料に関するものである。

従来例の構成とその問題点

従来、光制御型光スイッチとして例えばLiNbO<sub>3</sub>単結晶のような電気光学効果による屈折率変化を利用した光学材料が用いられていた。この場合、例えば第1図に示すように表面を研磨したLiNbO<sub>3</sub>単結晶基板11の表面層にTi金属を拡散させて互いに交差する光導波路12を形成するとともに、制御電極13を石英ガラスからなるパフ層14を介して光導波路の交差路15上に設け、さらに光起電力膜16を設け、この膜16と電極13を電気的に接続した制御電極空隙131に電界を印

加し、電極空隙131下の光導波路の屈折率を低下させ低屈折率層を形成し、光導波路12中を伝搬する光を低屈折率層との界面で全反射させ光スイッチにしようとするものであった。すなわち、たとえば $\delta_1$ から $\delta_2$ に進む光を電圧の印加により $\delta_1$ から $\delta_2$ に変更させるものである。

しかしながら、 $\text{LiNbO}_3$ 単結晶の電気光学効果による屈折率の変化量 $\Delta n$ は、 $1\text{KV/mm}$ の電界でただか $10^{-4}$ 程度であり、例えば制御電極13のギャップ(空隙131)の幅 $4\mu\text{m}$ の全反射型光スイッチの場合、スイッチング動作させるためには $50\text{V}$ 以上もの電圧が必要となり、低電圧駆動が困難であった。さらに、この第1図の構造では、 $\text{Ti}$ 拡散に $1000^\circ\text{C}$ 以上の熱処理が必要であり、微小光学素子例えば微小レンズ、プリズムなどの形成が困難であるとともに大面積の光起電力膜16が必要となった。また、この種の基板では、半導体素子例えば $\text{Si}$ からなる微小光検出素子のモノリシックな集積化が困難であり、高密度の光デバイス例えば光IC用の光スイッチとして

膜25と電極13との電氣的接続も容易で信頼性の高い光スイッチを提供することができる。

上記第2図の構成の $\text{PLZT}$ 系薄膜光制御型光スイッチは、通常の光のON-OFFの使用には電界無印加時の2本の出力光導波路24の出力光強度比すなわち分岐比が $10\text{dB}$ 程度で、又電界印加時と無印加時の同一導波路の出力光強度比すなわち消光比が $10\text{dB}$ 程度であるため使用しうる。しかし、 $10\text{dB}$ 程度の分岐比および消光比では信号伝送、特にアナログ伝送の場合漏話特性がかならずしも良好ではない。また、この構造の光導波路はマルチモード導波路であり、且つ高次モードへの変換が生じやすく $S/N$ 比が劣化し、伝送距離を長くとれないという欠点があった。この点を改良するためにシングルモード化すると上記構造では光伝搬損失が増加し実現することができなかった。

#### 発明の目的

本発明の目的は、薄膜光導波路からなる光制御型光スイッチの構造と構成材料を提供するもので

は実用性に欠くという欠点があった。

以上の欠点を克服するために本発明者らは、電気光学効果の大きい $\text{PLZT}$ 系薄膜からなる光制御型光スイッチを提案した。すなわち、第2図に示すように例えばサファイヤ( $\alpha$ -アルミナ)基板21上を保護被膜22で覆い、この保護被膜22に互いに交差する側23を設け且つこの側23に $\text{PLZT}$ セラミクスを埋設することにより $\text{RS}$ (raised strip)型光導波路24を形成し、さらに光導波路24上に石英ガラスからなるバッファ層14を介して制御電極13を設け、さらに光起電力膜25を形成した構造である。

この第2図の構成においては、 $\text{PLZT}$ 系薄膜からなる光導波路24の電気光学効果は大きいので、光スイッチの低電圧駆動化が実現され、同時に熱処理を要しないため形成が容易であり微小光学素子の同一基板上での一体化が実現された。又、半導体素子との集積化もサファイヤ基板の使用により形成が容易となった。さらに、比較的小さな光起電力膜25を同一基板上に設けることができ、

ある。特に本発明の目的は $\text{PLZT}$ 系薄膜からなる光制御型光スイッチの構造と構成材料を提供するものである。すなわち本発明は、 $\text{PLZT}$ 系薄膜光制御型光スイッチの導波路構造に改良を加え、消光比ならびに分岐比を改善したものである。

#### 発明の構成

本発明は、サファイヤ( $\alpha$ -アルミナ)基板上に $\text{PLZT}$ 系薄膜からなる少くとも2本の互いに交差する光導波路を形成し、上記交差路上に一定間隔の電極空隙を設け、この電極空隙を上記光導波路の鋭角なる交差角の2等分線上に位置させるように制御電極を光導波路の交差路上に配置し、上記光導波路と制御電極との間に $\text{PLZT}$ 系薄膜より小さい屈折率を有するバッファ層を設け、上記光導波路を、上記 $\text{PLZT}$ 系薄膜表面に帯型の上記 $\text{PLZT}$ 系薄膜よりなる凸部(リッジ部)を形成して構成し、さらに上記サファイヤ基板上に光起電力膜を設けかつ光起電力膜と制御電極と電氣的に結合させたものである。

#### 実施例の説明

第3図は本発明にかかる光スイッチの要部平面構造および上記光スイッチを構成する光導波路の要部断面構造である。同図において、サファイヤ(α-アルミナ)基板21上にPLZT系薄膜31からなる少なくとも2本の交差する光導波路32を形成し、この光導波路の交差路33上に設けられた一定間隔の電極空隙131を有し、電極空隙131が上記光導波路32の鋭角なる交差角の2等分線上に位置し、かつ光導波路32の交差路33上に上記空隙131を形成するように制御電極13を配置し、光導波路32と制御電極13との間にPLZT系薄膜31より小さい屈折率を有するバッファ層14を設け、さらに、上記光導波路32を、PLZT系薄膜31の一部32Aとこの32A表面に形成した帯型PLZT系薄膜よりなるリッジ部32Bにて構成し、サファイヤ基板21上に光起電力膜34を設けかつ電氣的に起電力膜34と制御電極13とを電氣的に結合させて構成したものである。

本発明者らは上記第3図の構造において、従来

減損失が20dB/cmを越え、又30μmを越えるとき素子寸法が大きくなり実用的ではない。また、ステップ高がリッジ部32Bを有する部分の膜厚の1/4以上になると高次モード変換が多くなり本発明の特長が現れにくくなった。さらに、上記構造の光導波路32により、Ti-拡散型LiNbO<sub>3</sub>光導波路に見られた光導波路の広がりがなく、又ステップ高も500nm以下でよいから、平面構成が容易であり微小なマイクロレンズの組み込みのことも確認した。

また、本発明者らは制御電極13の構成を詳細に調べた結果、最適の寸法の有することを見出した。すなわち、電極空隙131の間隔が2~10μmであると、スイッチング駆動電圧が低減することを確認した。すなわち、空隙131の間隔が2μm未満ではエバネセント波による光波の浸み込みにより空隙下の低屈折率層を光波が通過し、10μm以上にすると電界が十分に空隙に印加されないで駆動電圧が高くなった。又、空隙131の長さは光導波路32の交差部全体にわたって形

の光スイッチにおける拡散型導波路と異なり、PLZT系薄膜でリッジ部32Bを有する光導波路32でもモード変換が少なく、又光伝搬損失も問題とならないことを見出し、これらの発見に基づいて本発明にかかる光スイッチを実現した。

すなわち、第1図に示したように従来の光スイッチにおけるグレイトインデックス構造のTi-拡散型LiNbO<sub>3</sub>光導波路と異なり、通常光導波路として用いられる膜厚0.1~2μmのPLZT系薄膜31で、光導波路32の幅3~30μm、リッジ部32Bと周辺部との膜厚差すなわちステップ高がリッジ部のPLZT系薄膜全体の厚さの1/4以下の構造でマルチモード光導波路を形成しても、モード変換は問題なく、光伝搬損失も20dB/cm以下(波長1.06μmレーザ光)で素子として実用しうることを本発明者らは見出し、これらの発見に基づいて本発明にかかる光スイッチを実現した。そしてこのスイッチの分岐比特性は交差角2°以上で14dB以上得られることを確認した。この場合、光導波路32の幅3μm未満では光伝

成すると最良の消光比が得られたが、少なくとも交差部の長さの2倍以上あれば交差角2°で14dB以上得られ実用上有用であることを確認した。

さらに、本発明者らは光起電力膜34をサファイヤ基板21上に直接形成し、制御電極13と電氣的に結合するか、あるいは光起電力膜34をサファイヤ基板31上に接点層を介して一体化し制御電極13と電氣的に結合したとえばAlワイヤのボンディングにより結合しても静電および誘導電気雑音が殆ど印加しないことを確認した。又、光起電力膜34は制御電極13に雑音が印加されず取扱いが容易なためサファイヤ基板21と一体化しておればよく、第3図の配置に制限されるものでない。この構成で光起電力膜34に光を照射しスイッチング動作させると雑音レベルが低く且つ偏光特性の優れた出力光の得られることを確認した。

本発明者らは、この種の構成において構成材料をさらに詳細に調べた結果、イオン蒸着法たとえばマグネトロンスパッタ法を用いてPLZT系薄膜31を形成すると、電気光学効果の大きい

組成領域の存在することを発見し、この発見に基づきさらに有効な光スイッチが得られることを見出した。すなわち、本発明者らはスパッタターゲット組成においてPbおよびTiのモル比率 $Pb/Ti$ が、 $0.65 \leq Pb/Ti \leq 0.90$ の範囲において $LiNbO_3$ 単結晶と同等もしくはそれ以上の電気光学効果を有することを見出した。さらに $Pb/Ti$ モル比率が $0.7 \leq Pb/Ti \leq 0.8$ であれば、 $LiNbO_3$ 単結晶に比べ2倍以上の電気光学効果を有することも見出した。 $Pb/Ti < 0.65$ あるいは $Pb/Ti > 0.90$ の場合 $LiNbO_3$ 単結晶以下であり本発明の目的にとって望ましくない。なお、従来セラミクス材料においては、この $0.65 \leq Pb/Ti \leq 0.90$ 範囲の組成領域では電気光学効果は期待されてなく、測定データもなかった。本発明者らは、この組成領域を含む領域で薄膜化を試み、第4図に示すようにセラミクス材料で予想されなかった大きな電気光学効果を用いて光スイッチを構成し、駆動電圧の低い光スイッチを形成できることを確認した。

されないと考えられていた。しかし、第5図に示すように、20Vでスイッチング動作しており、同一制御電極空間隔のTi拡散 $LiNbO_3$ 光導波路光スイッチの動作電圧50~80Vの1/2以下の動作電圧であり、実用上有効であることを確認した。

さらに本発明者らはPLZT系薄膜31の(111)面が基板表面に平行であれば光スイッチとして有効であることを見出した。すなわち、上記PLZT系薄膜31は制御電極13の主平面内における方位に関係なく大きな電気光学効果を有していることを発見した。このため、光導波路32の主平面内での形成方位が任意であり、 $LiNbO_3$ 単結晶基板に比べ非常に形成が容易であるという利点がある。

さらに本発明者らはパフファ図14として、酸化タンタル、酸化チタン、酸化ジルコニウム、酸化亜鉛などの酸化物あるいは硫化ヒ素、硫化亜鉛などの硫化物が有効であることを見出した。これらの材料はPLZT系薄膜31との接着性が良く、又光伝播損失も増加させることなく形成でき

第4図において、 $Pb/Ti$ の比率を変えたときの電気光学効果の実測値を示す。同図において、曲線41はPLZT系薄膜の2KV/mmの電界印加時の電気光学効果の $Pb/Ti$ モル比率依存性を示す。この曲線41との比較のため曲線42に $LiNbO_3$ 単結晶の特性を示した。同図より、 $Pb/Ti$ モル比率が、 $0.65 < Pb/Ti < 0.90$ の範囲では $LiNbO_3$ よりも大きい電気光学効果が得られ、上記組成において本発明にかかる光スイッチを構成すると、光起電力膜34に光を照射し所定の電圧を発生させた場合制御電極13の空隙131の間隔4μmで20Vでマルチモード光が完全にスイッチング動作した。

第5図において上記第3図の構成の光スイッチの印加電圧を変化させたときの出力光強度の実測値を示した。従来、PLZT薄膜は $LiNbO_3$ 結晶( $\varepsilon \approx 100$ )より誘電率が大きく、たとえば28/0/100の組成のPLZT薄膜の誘電率はおよそ2000あり、通常パフファ図として低誘電率の材料を用いるため電界が光導波路に印加

ることを確認した。特に酸化タンタルはPLZT系薄膜31上でも結晶核が出来にくい非晶質膜で光伝播特性に優れ、且つ可視光から赤外まで透明であり、又屈折率は2.1で比較的大きく誘電率も20程度なので誘電率の大きいPLZT系薄膜に電界を印加する場合有効であることを確認した。

#### 具体例1

基板21として表面研磨されたサファイヤ( $\alpha$ -アルミナ)C面基板(0001)を用い、上記サファイヤC面基板21上に高周波マグネトロンスパッタにより厚さ0.4μmのPLZT系薄膜31を蒸着した。この場合ターゲットの組成は、PLZT(28/0/100)、スパッタターゲット径φ100mm、基板温度580℃、スパッタ電力200Wであった。蒸着されたPLZT系薄膜の構造は(111)面の単結晶であり、屈折率は2.6( $H_0$ -Noレーザ0.6328μm)であった。

次に、このPLZT系薄膜31の表面を例えば光導波路幅20μm、交差角2°となるように、フォトレジスト(例えばAZ1450B)でマス

キングして、PLZT系薄膜31をイオンビームエッチング法により例えば65nmだけエッチングを施した。このように加工するとリッジ部32Bを有する導波路32が形成され、光はリッジ部32Bを有する導波路32に閉じ込められ伝搬することが可能となる。次に、PLZT系薄膜31上に、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜をマグネトロンスパッタ法によりパツファ層14として蒸着した。蒸着されたTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜は非結晶であり、屈折率は2.1(He-Neレーザ0.6328μm)であった。次に制御電極13を蒸着Alで形成したのち、光起電力膜34たとえばp-n直列接続からなるGaAs光起電力セルを基板上に接合し、Alワイヤで制御電極13と電気的に結合し、光スイッチを形成した。

上記の構成において、例えばHe-Neレーザ光を光起電力膜34に照射し、出力電圧20V以上で、スイッチング動作することを確認した。又、上記光スイッチを金属容器内に設置し、光ファイバを通して光起電力膜に光を照射しても同様にスイッチング動作し、分岐比、消光比の改善により

従来のLiNbO<sub>3</sub>光導波路光スイッチにない耐雑音性および漏話特性の優れたことを確認した。

#### 発明の効果

以上のように本発明にかかる光制御型光スイッチにおいては、従来のTi拡散光導波路光スイッチにおいて形成のできなかった光検出素子を一体化でき、微小光学素子も容易に形成できる。更にマルチモードであるにもかかわらず、低雑音であり漏話特性も優れており、その工業的価値は大なるものである。

#### 4. 図面の簡単な説明

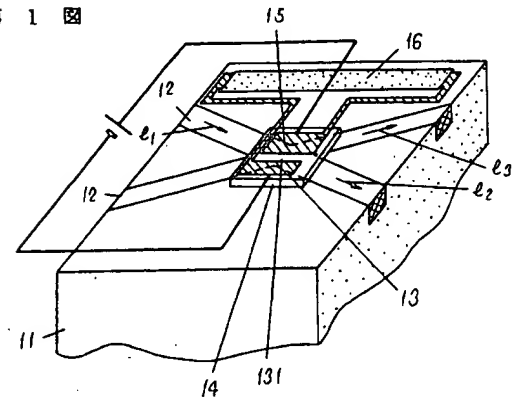
第1図は従来の光制御型光スイッチの構造を示す斜視図、第2図は本発明者らの提案にかかる光制御型光スイッチの構造を示す斜視図、第3図は本発明の一実施例にかかる光制御型光スイッチの構造を示す図、第4図は本発明におけるPLZT系薄膜の2KV/mmの電圧印加時における複屈折率変化を示す図、第5図は本発明の一実施例にかかる光制御型光スイッチのスイッチング特性を示す図である。

13……制御電極、14……パツファ層、21……サファイヤ基板、31……PLZT系薄膜、32……光導波路、32B……リッジ部(凸部)、33……交差路、34……光起電力膜、131……制御電極空隙。

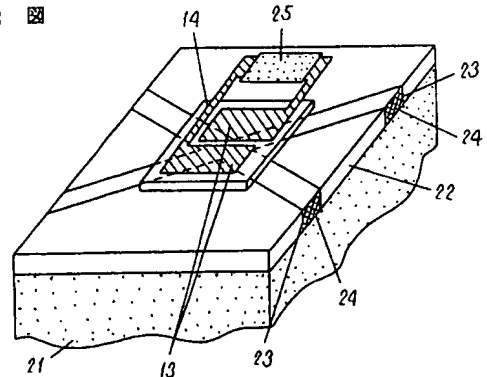
特許出願人 工業技術院長

石坂誠  
川田裕良

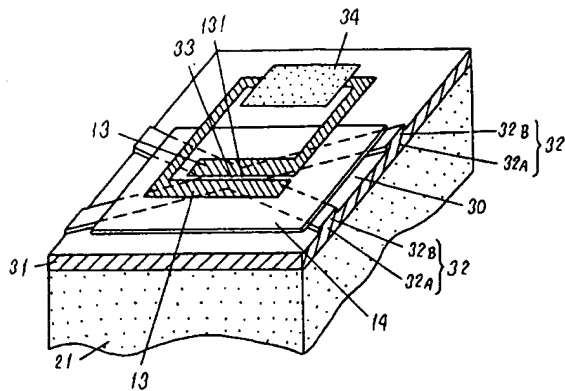
第1図



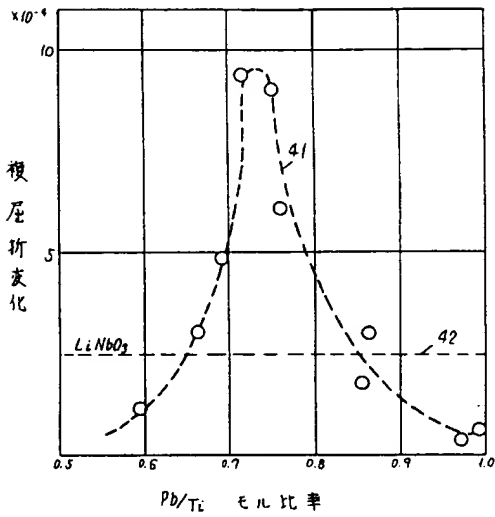
第2図



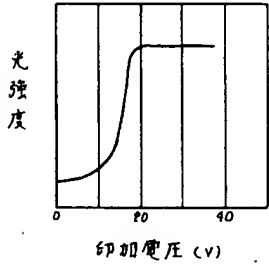
第 3 図



第 4 図



第 5 図



(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: **59185311 A**

(43)Date of publication of  
application: 20. 10 . 84

(51)Int. Cl

**G02F 1/03**  
**G02B 5/174**

(21)Application number: **58059949**

(22)Date of filing: **07 . 04 . 83**

(71)Applicant: **AGENCY OF IND SCIENCE &  
TECHNOL**

(72)Inventor: **KAWAGUCHI TAKAO  
ADACHI HIDEAKI  
WASA KIYOTAKA**

(54)**LIGHT CONTROL TYPE OPTICAL SWITCH**

(57)Abstract:

PURPOSE: To unite light sensors into one body, to facilitate formation of optical microelements, and to enhance characteristics of lowering noises and crosstalk by forming a photovoltaic film on a sapphire substrate, and electrically combining this film with control electrodes.

CONSTITUTION: The intended optical switch is provided with a sapphire ( $\alpha$ - alumina) substrate 21, two light guides 32 crossing each other made of a PLZT type thin film 31 formed on the substrate 21, 2 control electrodes 13 arranged on the guides 32 so as to set the electrode gap 131 having a constant space on the line bisecting the acuter intersecting angles of the intersecting point 33 of the two guides 32, and a buffer layer 14 lower in refractive index than the thin film 31, formed between the guides 32 and the electrodes 13. The light guides 32 are

provided with protruded band-shaped parts 32B made of the thin film 31 on the surface of the film 31, a photovoltaic film 34 is formed on the substrate 21, and this film 34 is electrically combined with the electrodes 13.

COPYRIGHT: (C)1984,JPO&Japio

